

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Ověření lisovací síly pneumatického lisu

Verification of Pressing Force of Pneumatic Press

Student:

Lukáš Důbrava

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Zadání bakalářské práce

Student: **Lukáš Důbrava**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Ověření lisovací síly pneumatického lisu**
Verification of Pressing Force of Pneumatic Press
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Popište funkci daného zařízení.
- 2) Popište problémy při provozu, proveďte rozbor možných příčin a možností řešení problému.
- 3) Navrhněte způsob ověření lisovací síly a proveďte měření.
- 4) Vyhodnoťte měření a na základě výsledků navrhněte nápravná opatření.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996. 267 s. ISBN 80-7078-306-0.

Kolektiv autorů. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno, SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. vydání. 344 s.

BEATER, P. *Pneumatic drives: system design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.


Katalogy a firemní podklady SMC, Festo, Norgren, Aventics, ITT a další.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016


doc. Dr. Ing. Lumír Hružík
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16. 5. 2016

..... Dubrava Lukáš

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byla VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledky její obhajoby.

V Ostravě: 16. 5. 2016

..... Důbrava Lukáš

podpis

Adresa trvalého pobytu studenta:

Lukáš Důbrava

Bezručova 764

Luhačovice 763 26

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval panu Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D., za odborné vedení a poskytování cenných rad při vypracovávání této bakalářské práce.

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DŮBRAVA, L. *Ověření lisovací síly pneumatického lisu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 48 s. Vedoucí práce: Dvořák. L.

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení měření síly pneumatického lisu a na základě jeho výsledků navrhnout nápravná opatření. První část se zabývá teorií pneumatických mechanismů. Následuje druhá část, která se zaměřuje na popis konstrukce brzdových destiček a popis prvků zadaného pneumatického lisu. Třetí část se zabývá problémy při provozu a zjišťováním jejich příčin. Poslední část se zaměřuje na způsob ověření lisovací síly pneumatického lisu a měřením. Obsahuje také vyhodnocení měření s možnými návrhy na nápravná opatření vzhledem k výsledkům měření.

ANOTATION OF BACHELOR THESIS

DŮBRAVA, L. *Verification of Pressing Force of Pneumatic Press: Bachelor Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydromdynamics and Hydraulic Equipment, 2016, 48 p. Thesis head: Dvořák. L.

The target of this bachelor thesis is to evaluate the measurement force of pneumatic press and on the basis of its results to suggest corrective measures. The first part deals with the theory of pneumatic mechanisms. Followed by the second part, which focuses on the description of the construction of brake pads and a description of the elements in specific pneumatic press. The third part deals with the problems of traffic and identifying their causes. The last section is focuses on verification of the pressing force of pneumatic press and measurement. It also includes evaluation of the measurement with possible proposals for corrective action with respect to measurement results.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	1
1 Úvod	3
2 Pneumatické mechanismy	4
3 Lisování protihlukové vrstvy	5
3.1 Brzdové destičky	5
3.1.1 Konstrukce brzdových destiček	6
3.2 Popis zařízení	9
3.3 Prvky pneumatických zařízení	10
3.3.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu	11
3.3.2 Rozváděče a ventily	12
3.3.3 Pneumatický pohon	13
3.3.4 Hadice a šroubení	14
3.3.5 Tlumič hluku	15
4 Problémy při provozu	17
4.1 Nedostatečná průtoková propustnost	17
4.1.1 Pojednání o průtokové propustnosti	17
4.1.2 Výpočet požadovaného průtoku	25
4.1.3 Výpočet prostupnosti systému	26
4.1.4 Porovnání a zhodnocení výpočtů	27
4.2 Pomalé vypouštění vzduchu	27

4.3	Kolísání tlaku v rozvodu.....	28
5	Ověření lisovací síly	28
5.1	Metodika měření	28
5.2	Měření za normálních podmínek provozu	31
5.3	Měření s rychloodvětrávacím ventilem	33
5.4	Porovnání	36
5.5	Ověření kolísání tlaku v rozvodu.....	37
Obr. 5.12	Dlouhodobé měření tlaku, <i>Zdroj:</i> vlastní zpracování.....	38
6	Závěr.....	39
	Seznam použité literatury	40

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název veličiny	Rozměr
C_v	průtokový součinitel	$[\text{gal(USwet)} \cdot \text{min}^{-1}]$
F	lisovací síla	$[\text{N}]$
F_0	požadovaná lisovací síla	$[\text{N}]$
K_v	průtokový součinitel	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
$K_{v_{\text{ekv}}}$	ekvivalentní průtokový součinitel	$[\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}]$
Q	objemový průtok	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
Q_n	normální objemový průtok	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
$Q_{n_{\text{ekv}}}$	ekvivalentní normální průtok	$[\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}]$
S_p	plocha pístu	$[\text{m}^2]$
S	ekvivalentní průřez	$[\text{mm}^2]$
T_1	teplota okolí	$[\text{K}]$
T_n	normální teplota	$[\text{K}]$
V_1	objem pístnicového prostoru	$[\text{m}^3]$
V_n	normální objem	$[\text{m}^3]$
d_1	průměr pístu	$[\text{m}]$
d_2	průměr pístnice	$[\text{m}]$
f	průtokový součinitel	$[\text{gal(Imp)} \cdot \text{min}^{-1}]$
h	zdvih pístu	$[\text{m}]$
k_v	průtokový součinitel	$[\text{dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}]$

p	tlak, přetlak	[Pa]
p_1	tlak v prostoru pístu	[Pa]
p_{1abs}	absolutní tlak	[Pa]
p_2	tlak v odvětrávaném prostoru pístnice	[Pa]
p_3	tlak na vstupu do rozváděče	[Pa]
p_n	atmosférický tlak	[Pa]
t	čas	[s]
t_0	čas přestavení rozváděče	[s]
t_1	čas začátku lisování	[s]
t_2	čas přestavení rozváděče	[s]

1 Úvod

Pneumatické mechanismy mohou být klasifikovány jako mechanismy umožňující přenos a transformaci energie. Jejím nositelem je stlačený vzduch získávaný ze vzduchu atmosférického. Využívá se v různých průmyslových odvětvích, zejména v potravinářském, farmaceutickém, strojírenském, slévárenském, chemickém, hutnickém a dalších. Slouží zde k pohonu různých výrobních strojů a zařízení a dopravních linek. Stlačený vzduch bývá rozváděn po výrobních halách a napojení pneumatického zařízení do rozvodu je velmi snadné. A jelikož se jedná o vzduch, mohou být odfuky vyvedeny přímo do ovzduší, není třeba žádného jiného zpětného vedení v podobě potrubí apod., jako je tomu u hydraulických zařízení.

Mechanismy založené na pneumatické bázi se vyznačují technologickou a konstrukční jednoduchostí a nenáročností na údržbu, tím je zajištěna jejich spolehlivost a nízké provozní nároky. Proto jsou v dnešní době vyhledávanými systémy a staly se tak nezbytnou součástí většiny automatizovaných moderních výrobních strojů a zařízení.

Přesto, že pneumatické mechanismy nedosahují takových sil a výkonů oproti mechanismům hydraulickým, lze je v některých případech použít k lisování. Toho se využívá například i při lisování protihlukové vrstvy na brzdové destičky, užívané v dopravním průmyslu.

Cílem této bakalářské práce je vyhodnocení měření síly zadaného pneumatického lisu a na základě jeho výsledků navrhnout nápravná opatření.

Bakalářská práce je členěna do čtyř kapitol. První kapitola se věnuje teoretickému východisku pneumatických mechanismů. Kapitola druhá pojednává o zadaném zařízení. Nejdříve se zaměřuje na popis produktu na něm vyráběném – brzdové destičky, dále se věnuje popisu pneumatického zařízení, jeho funkci a každému prvku v něm zvlášť. Ve třetí kapitole jsou popsány problémy při provozu. Byly zjištěny tři možné příčiny, které jsou zde řešeny, jedná se o nedostatečnou průtokovou propustnost, pomalé vypouštění vzduchu nebo kolísání vzduchu v rozvodu. V poslední kapitole se pojednává o způsobu ověření lisovací síly a provedeném měření. Zároveň obsahuje také vyhodnocení měření a návrhy na nápravná opatření vzhledem k výsledkům měření.

2 Pneumatické mechanismy

Pneumatické mechanismy patří do kategorie tekutinových mechanismů a to spolu s mechanismy hydraulickými. Slouží k přenosu a transformaci energie. Dle druhu nositele se dělí na mechanismy tuhé, hydraulické a elektrické. Tyto mechanismy se stále více používají při modernizaci konstrukcí a výkonu strojů a zařízení.

Jejich prvky se vyznačují především technologickou a konstrukční jednoduchostí, z čehož plyne především provozní spolehlivost a jejich malé nároky na údržbu.

Nositелеm energie je u pneumatických mechanismů nejčastěji stlačený vzduch, který se získává z atmosférického vzduchu. Představuje směs vodních par, malých pevných částic a vzduchu v různé míře a koncentraci v závislosti na kompresorovou stanici. Stlačený vzduch bude dále označován za tzv. ideální plyn. Což je plyn očištěný o vlhkost a olej. Pro následující praktickou část bude sloužit ke zjednodušení výpočtových vztahů [1].

Využívá tří forem energie, a to potenciální, deformační a kinetické. Ovšem potenciální energie se v praxi nevyužívá z důvodu její zanedbatelnosti.

Obecně lze za výhodu považovat i fakt, že vzduch je všude, a proto nejsou žádné starosti s jeho zajišťováním. Mezi velké výhody patří čistota provozu zařízení. Na rozdíl od hydraulických mechanismů u nich při případné poruše nedojde ke znečištění či dokonce zničení stroje. Pneumatické stroje tedy mohou být užívány ve vysoce náročných podmínkách na čistotu, a to zejména v potravinářském či farmaceutickém průmyslu. Mezi další výhody patří nezávislost na velikosti teploty. Tyto mechanismy mohou být používány i pro potřeby hutního či slévárenského průmyslu, kde je třeba brát zřetel na velmi vysoké rozmezí teplot. Jelikož mechanismy pracují na bázi vnitřního přetlaku, nedojde tak ke znečištění prašnými částicemi a tím pádem se zvýší i životnost zařízení. Funkce pneumatických mechanismů bývá užívána i v hlubinných dolech, chemickém průmyslu či výrobně laků. Jedná se o výbušná a zápalná prostředí, ale zařízení jsou natolik uzpůsobena těmto podmínkám, že jsou schopna zajistit bezpečnou plynulost provozu. Vyznačují se také vysokou rychlostí při výkonu operací. Při jejich montáži a údržbě není třeba speciálních kvalifikací. Snadné nalezení problému, neboť unikající vzduch je slyšitelný, či může dojít k měření úniku pomocí přístroje, tzv. manometru [1], [3].

Mezi nevýhody bývá považována mechanická úprava stlačeného vzduchu. Nesmí totiž obsahovat žádné nečistoty, vlhkost a vody. Naopak někdy bývá obohacen olejovou mlhou, která slouží pro snadné pohyby pneumatických prvků v zařízení. Stlačený vzduch znamená pro firmu značné náklady v oblasti plateb za energie, neboť při jeho rozvodu mohou vznikat finanční ztráty. U nevýhod je možné také narazit na problém hlučnosti mechanismu, ke které dochází v závislosti na velikosti vzdušného průtoku [1], [3].

3 Lisování protihlukové vrstvy

Firma ITT Holdings Czech Republic s.r.o. je známá pro výrobu velmi výkonných a vysoce kvalitních automobilových brzdových destiček, užívaných v dopravním průmyslu. Díky aplikaci inovativních výzkumů v oblasti nových třecích materiálů a výrobních technologií je firma schopna plnit požadavky různých automobilek a zákazníků po celém světě [5].

V této kapitole bude představena konstrukce brzdové destičky. Dále funkce pneumatického lisu, který slouží pro lisování protihlukové vrstvy u brzdových destiček. Podrobněji budou popsány i jednotlivé prvky tohoto lisu.

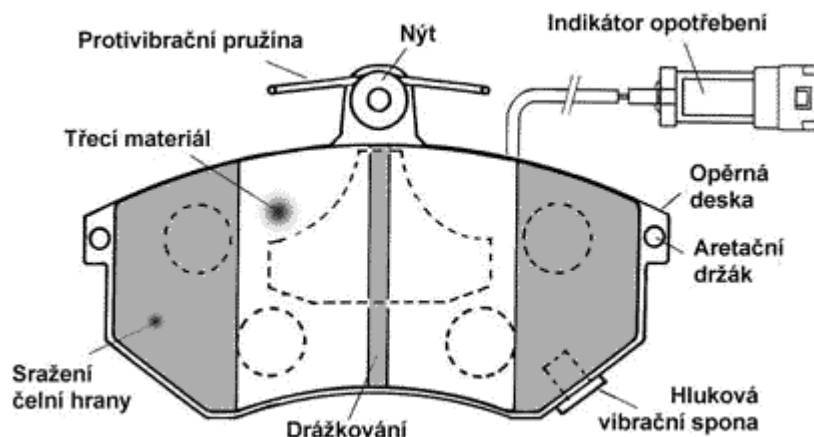
3.1 Brzdové destičky

Brzdové destičky jsou součástí kotoučových brzd. Při brzdění dochází třením k transferu energie kinetické na energii tepelnou. Pokud dojde ke kontaktu destičky s bubnem či rotorem, zahřeje se. Brzdná síla vzniká na základě přilnutí destičky a disku k sobě a přenosem nepatrného množství brzdného materiálu na buben [5].

Jak již bylo řečeno, firma ITT Holdings Czech Republic s.r.o. provádí na sledované pneumatické soustavě výrobu automobilových brzdových destiček. V následující části bude blíže popsána jejich konstrukce.

3.1.1 Konstrukce brzdových destiček

V této části bakalářské práce budou dle Obr. 3.1 popsány konstrukční prvky brzdových destiček. Tato problematika je dále popsána v literatuře [6].



Obr. 3.1 Konstrukční schéma brzdových destiček, Zdroj: [6].

1. Třecí materiál

Pokud dojde ke tření tohoto materiálu proti materiálu jinému, vzniká tak brzdný účinek. Aby bylo dosaženo požadovaného brzdného účinku je nutné přizpůsobit použití vhodného materiálu. Při výběru je nutné uvažovat správný koeficient tření. Vyžaduje se, aby byl stálý ve všech extrémních situacích, kdy má vůz nejvyšší rychlost, vysoký tlak na brzdy a také maximální teplotu pro disk, která bývá dána z prognóz při prudkém brzdění plně naloženého auta. Mezi hlavní složky při výrobě třecího materiálu bývá zahrnována pryskyřice, vlákna, lubrikanty, plnidla a brusidla.

2. Opěrná deska

K výrobě opěrné desky je užívána díky svým vlastnostem měkká ocel. Tloušťka má jiné rozměry dle užitku automobilů. Základní malé destičky mají rozměry 3 mm, pro užitkové vozy se vyrábějí destičky o tloušťce 6 - 7 mm a nejširšími jsou průmyslové destičky o rozměru 10 mm. Tyto rozměry jsou dány s přesností na 0,10 – 0,13 mm šířky a to z toho důvodu, aby brzdící třmen měl vůli.

3. Protihluková deska

Brzdová hlučnost je vyvolána vibracemi mechanického systému složeného z tlumení, tuhosti a hmoty. Dochází ke vzniku dynamického celku díky komponentům třecího materiálu, jako jsou opěrné desky, třmen, disk, náboj kola, držák náboje, uchycení třmenu, části odpružení a komplexně smontovaná kola. Aby docházelo ke snížení hlučnosti, musí být brán zřetel na vhodný výběr třecího povrchu a také protihlukové destičky. Ta má podobu úzkého plátku z gumy či oceli, který je zakomponován do opěrné desky a buďto je přilepen či připevněn vymezeními kolíky. U některých typů brzdových destiček jsou zde přidávány nepružné plátky pro vyšší zvukové fixování.

4. Nálitky

Nálitky jsou malé kovové výstupky, které jsou konstruovány na zadní straně opěrné desky a zapadají do prohlubní pístkového třmenu propojených s mechanismem ruční brzdy. Jejich nastavení podléhá upevnění pístku. Výstupky zabraňují rotaci pístku. Jakmile dojde k vytažení destiček, pístek se pomocí rotace vrací do těla brzdiče. Nálitky dále také slouží pro uchycení hlukových vibračních spon pro odhalení opotřebení.

5. Držáky

Otvory v opěrné desce pomáhají jednoduššímu sestavení brzdových destiček a držení v těle brzdiče. Jejich hlavním úkolem je zabezpečení správného usazení a zajištění brzdové destičky, aby nedošlo k jejímu uvolnění.

6. Drážka

Drážkování bylo dříve užíváno z důvodu efektivní funkce samočištění. Ovšem již se od používání drážek ustupuje pro lepší měřitelnost funkcí.

7. Nákružky

Jedná se o otvory na opěrné desce, které zaručují ochranu třecího materiálu před jeho odlučování od opěrné desky. Jejich rozmístění a tvar je nutno dodržovat pro tuhost destičky ve vztahu k pístku. Při konstrukci závodních brzdových destiček a destiček pro těžká zařízení je nutné dbát na způsobení tvaru opěrné destičky a vybrat správný třecí materiál.

8. Pružiny

U brzdových destiček existují dva druhy pružin, antivibrační a vratné pružiny. Antivibrační bývají nejčastěji připojeny k opěrné desce nebo ke třmenu. Co se týká vratných pružin, užívají se při bezprostředním kontaktu s pístkem či tělem brzdíče.

9. Zkosení hran

Zkosení hran je možné pozorovat především u náběhových nebo zadních hran destičky. Použití je zřejmé z geometrie dotyku destičky k ovlivnění sklonu k hlučnosti úpravou hrany, která ji může zapříčiňovat. A také sklonu k vibracím, kdy se po zkosení hran zmenší oblast kontaktu ovlivňující vznik teploty na protějších stranách destičky a brzdového disku.

10. Podkladová vrstva

Pokladová vrstva bývá obdobná materiálu destičky, dokud nedojde k velkému opotřebení, není pod krycím nátěrem vidět. Jejich vlastností bývá užíváno v případě, že je z důvodu tření nutné užití neporušené opěrné desky. Dalším důvodem pro aplikaci podkladové vrstvy může být snížení tepla na opěrné desce, vznikajícího v polokovových destičkách. Její uplatnění je také při snižování hluku pomocí visko-elastickým tlumícím efektem. A také při potřebě zlepšení tvrdosti třecího materiálu.

11. Lepidla

Lepidla jsou charakterizována jako tepelně vytvrzující pryskyřice či guma. Jsou založeny na slučitelnosti s ostatními díly brzdových materiálů. Bývá nanášeno na destičku, která nese třecí jednotku. Aplikovaná vrstva v podobě roztoku se nechá zaschnout až po plné vytvrzení. To zamezí měknutí lepidla, z toho důvodu je velmi důležité, aby byla teplota a čas tvrzení přesně dodržovány.

12. Indikátor opotřebení

Indikátory opotřebení jsou dva, mechanický a elektrický. U mechanického se jedná o hlukovou vibrační sponu vyrábějící se z pružinové oceli. Bývají nýty upevněny k opěrné desce a situovány tak, že při opotřebení destičky na projektované minimum, přijde spona do styku s brzdovým kotoučem. Tento okamžik způsobí vibrace, proti kterým je brzdový

systém sestrojen. Vibrace bývají slyšitelné a ukazatele opotřebení jsou situovány na destičky, které vypovídají o rychlejším opotřebení. Co se týká elektrického indikátoru, jeho nejjednodušším provedením je zapuštění drátu do okraje destičky. Kontakt s brzdovým kotoučem spojí okruh s uzemněním vozu a rozsvítí varovnou kontrolku na jeho palubní desce. Vodič bývá izolován kvůli přítomnosti polokovového materiálu [6].

3.2 Popis zařízení

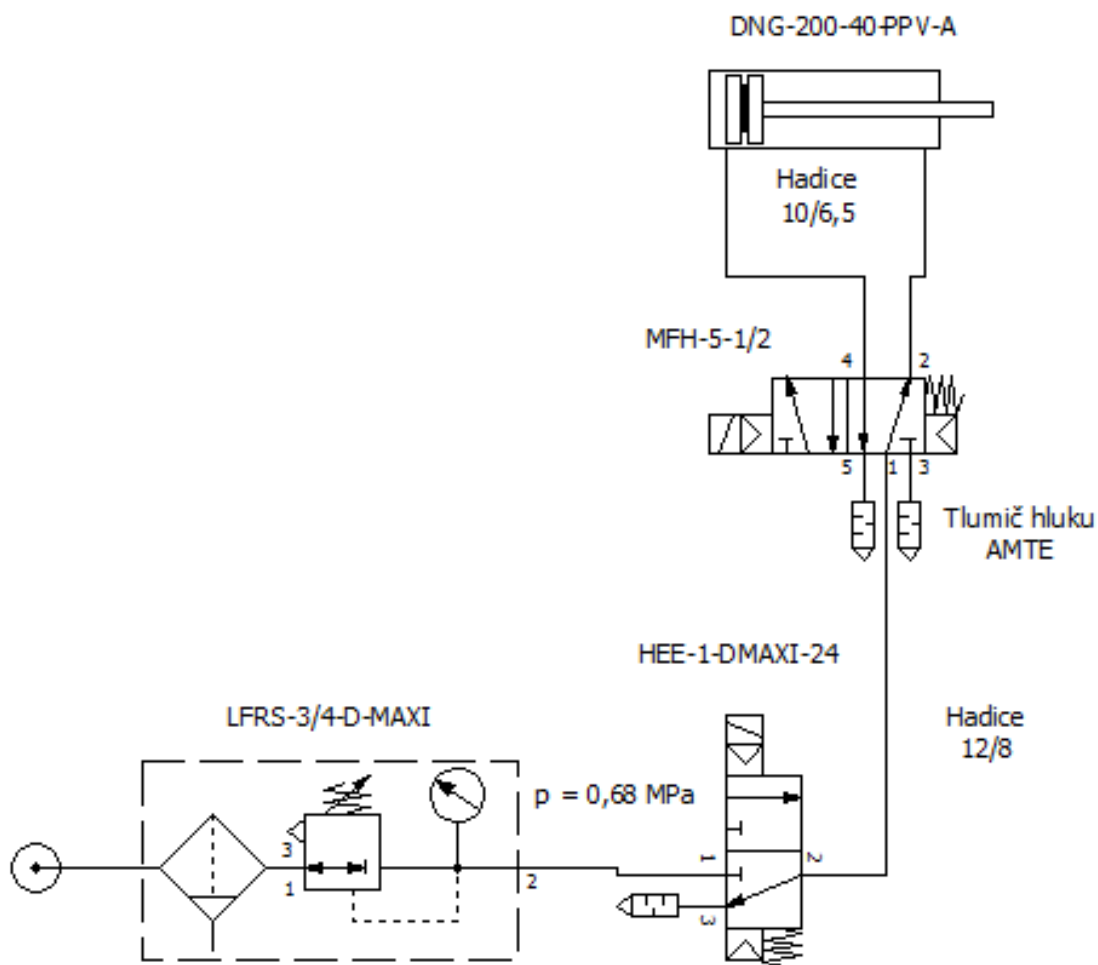
Sledovaný pneumatický lis je znázorněn ve schématu (Obr. 3.2). Jeho lisovací síla je obtížně zjistitelná, neboť se na tomto zařízení vyrábí až 400 typů výrobků. Požadovaný tlak je uveden v $\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$, který se pak dle plochy lisované protihlukové vrstvy přepočítává na sílu. Co se týká materiálu, je jeho běžný požadavek $100 \text{ N} \cdot \text{cm}^{-2}$ a plocha největší protihlukové vrstvy je $80,3 \text{ cm}^2$. Tím pádem by zařízení mělo, dle vzorce (3.1) disponovat silou 8 030 N, což je přibližně 800 kg. Požadavkem firmy je, aby lisování při této tlakové síle trvalo 1 sekundu.

$$F_0 = p \cdot S = 100 \cdot 80,3 = 8\,030 \text{ N} \quad (3.1)$$

Pneumatický obvod lisu je složen z jednotky pro úpravu vzduchu, 3/2 monostabilního spínacího rozváděče, hlavního 5/2 monostabilního elektromagneticky řízeného rozváděče, dvojčinného pneumatického válce s magnetem o průměru 0,2 m a zdvihu 0,04 m. Tlak nastavený na redukčním ventilu je 6,8 bar, což je 0,68 MPa. K němu je nutné připočít ještě atmosférický tlak, který je 0,1 MPa. Nejdříve je nutné vypočít plochu pístu, dle vzorce (3.2), která je $0,031 \text{ m}^2$. Po dosazení do vzorce (3.3) byla zjištěna pracovní síla na sledovaném pneumatickém lisu, která činí 24 180 N.

$$S_p = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} = 0,031 \text{ m}^2 \quad (3.2)$$

$$F = (p + p_n) \cdot S_p = (680\,000 + 100\,000) \cdot 0,031 = 24\,180 \text{ N} \quad (3.3)$$



Obr. 3.2 Schéma zařízení na lisování protihlukové vrstvy, *Zdroj: vlastní zpracování*

3.3 Prvky pneumatických zařízení

Existuje velké množství vyráběných pneumatických prvků do různých zařízení. Jejich konstrukční rozdílnost se pohybuje až v několika desítkách tisíc provedení. Prvky se rozdělují do následujících pěti základních skupin, dle funkce [1]:

1. Převodníky převádějící energii ze sloupce stlačeného vzduchu na tuhé části, zahrnují se zde např. generátory, motory
2. Prvky pro řízení velikosti a směru proudu stlačeného vzduchu, kde patří uzavírací ventily, jednosměrné a škrťací ventily, rozváděče a logické prvky.
3. Prvky pro řízení tlaku, kde jdou zařazeny tlakové spínače, pojistné a redukční ventily.

4. Prvky pro automatizaci pracovního cyklu, kde patří tlakové a časové relé, zesilovače a trysky.
5. Pomocné prvky sloužící k úpravě stlačeného vzduchu či snižování hluku apod.

Dále se práce bude zaměřovat na sledované zařízení, které disponuje jednotkou pro úpravu stlačeného vzduchu, ventily a rozváděči, pneumatickým pohonem v podobě dvojčinného válce s magnetem, tlumičem hluku, hadicemi a šroubením.

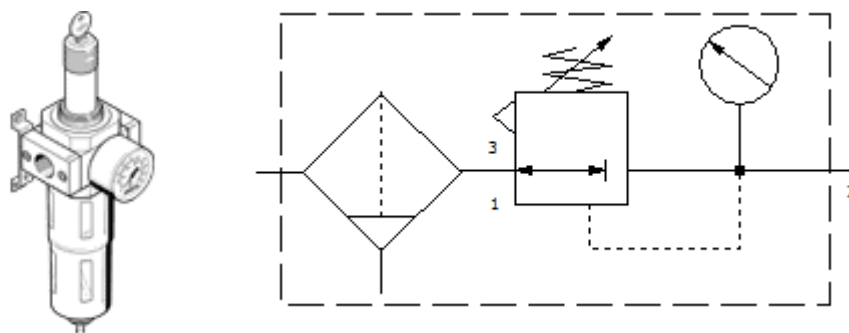
3.3.1 Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu

Jednotka pro úpravu stlačeného vzduchu je jednou ze základních částí zařízení a obecně se skládá z filtrační jednotky, odlučovače kondenzátu ze stlačeného vzduchu, redukčního ventilu pro regulaci tlaku a případně přimazávače vzduchu pomocí olejové mlhy. Každý z těchto prvků je vyráběn odděleně, k jejich kompletaci dochází až při sestavování bloku.

Vzhledem k vysokým nárokům na čistotu vzduchu je nezbytné provedení úprav stlačeného vzduchu. Výše bylo zmíněno, že obsahuje spoustu nečistot a vlhkost. Následkem kondenzace vodní páry a jejím spojením s kompresorovým olejem dochází k zabránění pohybu mechanických dílů. Vznikne totiž lepkavá emulze, která usazováním ve ventilech a válcích a tvrdne [1].

Bezporuchovost pneumatických prvků lze zajistit pouze při dostatečném a vhodném filtrování stlačeného vzduchu.

V daném systému je zařazen redukční ventil s filtrem s označením LFRS-3/4-D-MAXI, jak je znázorněno na obrázku Obr. 3.3 níže.



Obr. 3.3 Redukční ventil s filtrem – LFRS-3/4-D-MAXI, Zdroj: [8]

Katalogové parametry [8]:

Normální jmenovitý průtok: $9\,700\text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$

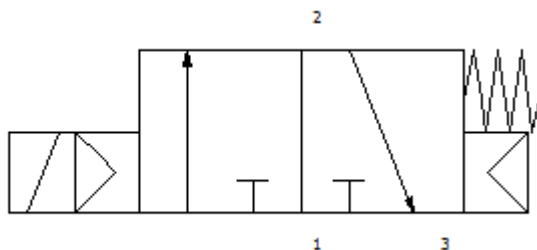
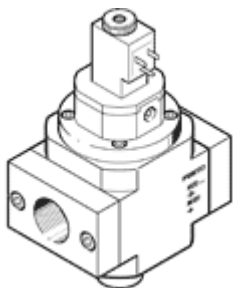
Provozní tlak: $0,1 - 1,6\text{ MPa}$

3.3.2 Rozváděče a ventily

Řídící prvky bývají rozdělovány na prvky hrazeného průtoku - rozváděče, řízeného průtoku a řízeného tlaku - ventily. Spojením těchto dvou prvků vzniká tzv. rozváděcí ventilový blok.

Jedním z hlavních parametrů je počet vstupů a výstupů kanálů a počet poloh bývá udáván ve zlomcích, např. 5/2 – pěticestný dvoupolohový rozváděč. Mezi další parametry patří způsob jejich ovládání, velikost a maximální průtok vzduchu [1].

V zadaném zařízení jsou zakomponovány dva druhy rozváděčů. A to rozváděč spínací dle Obr. 3.4 a elektromagneticky řízený rozváděč z Obr 3.5.

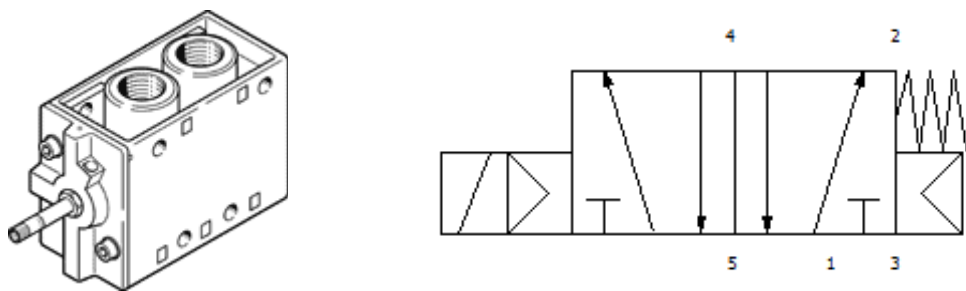


Obr. 3.4 3/2 monostabilní, spínací rozváděč – HEE-1-D-MAXI-24, *Zdroj:* [9]

Katalogové parametry [9]:

Normální jmenovitý průtok: $6\,500\text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Provozní tlak: $0,25 - 1,6\text{ MPa}$



Obr. 3.5 5/2 monostabilní, elektromagneticky řízený rozváděč – MFH-5-1/2, Zdroj: [10]

Katalogové parametry [10]:

Normální jmenovitý průtok: $3\,700\,dm_n^3 \cdot min^{-1}$

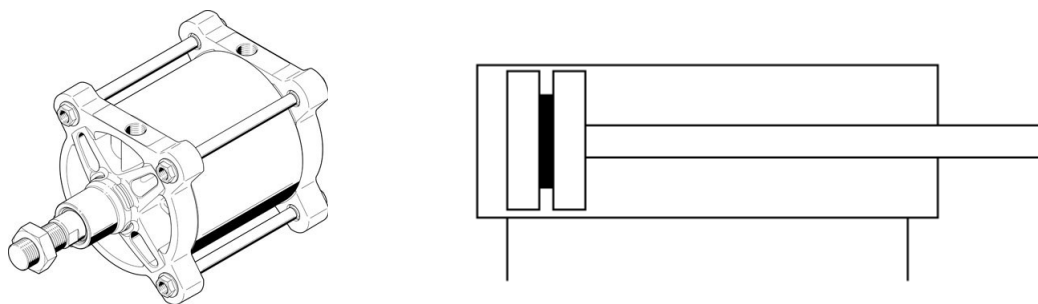
Provozní tlak: 0,2-0,8 MPa

3.3.3 Pneumatický pohon

Za pneumatický pohon bývá označován pneumatický přímočarý motor. Oproti hydraulickým přímočarým motorům mají značné výhody, jako je konstrukční jednoduchost, technologická nenáročnost, vysoká rychlost zdvihu a práce při náročnějších podmínkách na čistotu (potravinářství, farmacie). Naopak jejich nevýhodou je složitá výpočtová část přesnosti regulace rychlosti a těžší kontrola zdvihu obou krajních stavů pístu [1].

Existují dvě provedení lineárních pohonů. Jednočinné válce se vyznačují jednostranným přívodem stlačeného vzduchu. Do dvojčinných válců se stlačený vzduch vhání z obou stran.

Sledované pneumatické zařízení využívá dvojčinného válce, znázorněného na Obr 3.6, kde na píst působí střídavě tlaková síla v obou směrech. Vysouvání pístnice tohoto válce je zpravidla zatíženo větší silou, než při zasouvání pístnice. Je to způsobeno tím, že pracovní plocha pístu je větší o plochu dané pístnice.



Obr. 3.6 Dvojitý válec s magnetem – DNG-200-40-PPV-A, Zdroj: [11]

Katalogové parametry [11]:

Průměr válce: 0,2 m

Zdvih: 0,04 m

Maximální tlak: 1 MPa

3.3.4 Hadice a šroubení

Pro rozvod tlakového vzduchu v soustavě mezi pneumatickými komponenty bývá užíváno spojovacích prvků, mezi které jsou řazeny trubky, hadice a šroubení. Hadice bývají nejčastěji vyráběny z pryže a plastu, je s nimi lehká manipulace i úprava délky při zapojování do systému. Šroubení se používá k propojení hadice s prvkem v soustavě [1].

V zadané soustavě se užívají polyuretanové hadice (viz. Obr. 3.7) o dvou rozměrech. A dále šroubení s nástrčnými koncovkami z Obr. 3.8, které jsou zakomponovány v soustavě celkem 5 krát.



Obr. 3.7 Polyuretanové hadice PUN, Zdroj: [4]

Parametry:

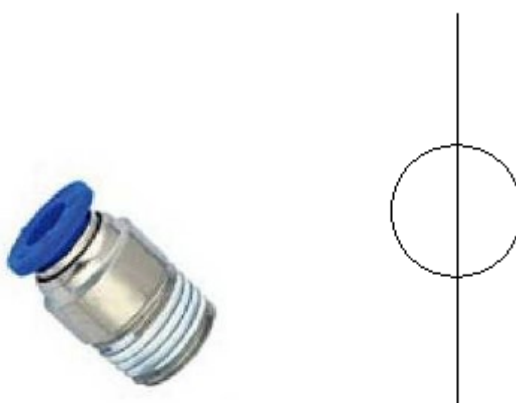
- pro hadici 12/8 o délce 1,5 m

Normální jmenovitý průtok: $1\,633\, dm_n^3 \cdot min^{-1}$

- pro hadici 10/6,5 o délce 0,5 m

Normální jmenovitý průtok: $1\,361\, dm_n^3 \cdot min^{-1}$

Tyto hodnoty byly zjištěny z diagramu v Obr 4.6 a přepočteny dle vzorce (4.9).



Obr. 3.8 Šroubení QUICKSTAR, Zdroj: [4]

Parametry:

Normální jmenovitý průtok: $3700\, dm_n^3 \cdot min^{-1}$

Závit: G1/4

Vypočtená hodnota byla zjištěna z údajů v tabulce Tab. 3.1.

3.3.5 Tlumič hluku

Pneumatická zařízení mají značnou nevýhodu v tom, že jsou hlučná při výfuku do ovzduší. Jejich hlučnost se stupňuje se zvyšujícím se objemem vzduchu a sklonem tlakového spádu, který představuje odchylku mezi tlakem ve výstupním kanále pneumatického prvku proti okolnímu tlaku. Alternativním řešením může být vyvedení výfuku mimo pracoviště, ovšem při delším vedení dochází ke zvýšení odporu, což zapříčiňuje

celkové snížení výkonu zařízení. Tato nevýhoda se eliminuje zakomponováním prvku tlumiče hluku do pneumatické soustavy, obvykle do rozvaděče [1].

Ve sledované soustavě jsou namontovány tři tlumiče vzduchu, znázorněné na Obr. 3.9. Dva z nich se nachází na 5/2 monostabilním, elektromagneticky řízeném ventilu a další na 3/2 monostabilním, spínacím ventilu.



Obr. 3.9 Tlumič hluku – AMTE, Zdroj: [12]

Katalogové parametry [12]:

Průtok proti atmosféře: $1000 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$

Úroveň hluku: $< 95 \text{ dB}$

4 Problémy při provozu

Firmou ITT Holdings Czech Republic s.r.o. bylo zadáno proměření tlakových poměrů na výrobní lince, kde se při provozu stává, že z důvodu nedostatečného dodání pracovního tlaku, lisovaná protihluková vrstva odpadáva. Příčinou tohoto problému může být nedostatečná průtoková propustnost, pomalé vypouštění vzduchu nebo kolísání vzduchu v rozvodu. Všechny tyto příčiny budou dále podrobněji rozebrány.

4.1 Nedostatečná průtoková propustnost

Průtoková propustnost je schopnost pneumatického systému propustit mezi zdrojem stlačeného vzduchu a motorem takové množství vzduchu, které je potřebné ke správné funkci motoru. Průtoková propust může být ovlivněna řadou vedlejších a řídicích prvků, které se mohou do systému zapojit sériově nebo paralelně. Pro zjištění průtokové propustnosti potřebujeme znát hodnoty velikosti jednotlivých prvků. Ty jsou uváděny v katalogích přímo od výrobců jako jmenovitý průtok Q , nebo jako častěji přepočtený na normální průtok Q_N [1].

4.1.1 Pojednání o průtokové propustnosti

V elektrotechnice se vyjadřuje odpor proudění jednotkou Ohm, kdežto u pneumatických prvků se tato veličina určuje pomocí průtokových součinitelů k_v , K_v , C_v , Q_n a také poměrným průřezem S [2].

A. Průtokové součinitele [2]:

- Q_n – normální průtok - objemový průtok vzduchu [$dm_n^3 \cdot min^{-1}$] (litry za minutu přepočtené za normálních podmínek), který se zjišťuje při vstupním tlaku do prvku 6 bar a tlakovém spádu na prvku 1 bar, dle normy ISO 6358.
- K_v – průtokový součinitel (v některé literatuře též faktor) – má hodnotu 1 při průtoku vody $1 m^3 h^{-1}$ (teplé 5 až 40°C) při tlakovém spádu na ventilu 1 bar. Je udáván v [$m^3 \cdot h^{-1}$].
- k_v – průtokový součinitel (v některé literatuře též faktor) – má hodnotu 1 při průtoku vody $1 dm^3 min^{-1}$ (teplé 5 až 40°C) při tlakovém spádu na ventilu 1 bar. Je udáván v [$dm_n^3 \cdot min^{-1}$].
- C_v – je obdobou obou předchozích, je vztažen na anglosaské jednotky. Jeho hodnota je 1 při průtoku 1gal (USwet) min^{-1} , při tlakovém spádu 1 psi (0,007 MPa) a teplotě 60°F (15,6°C).

- **f** – liší se od Cv pouze tím, že se zde jedná o britské galony gal(imp)min⁻¹.
- **S** – ekvivalentní průřez udávaný v mm². Je to měřením zjištěný údaj vztahující se k ventilu nebo soustavě prvků a který odpovídá průřezu clony při stejném průtoku.

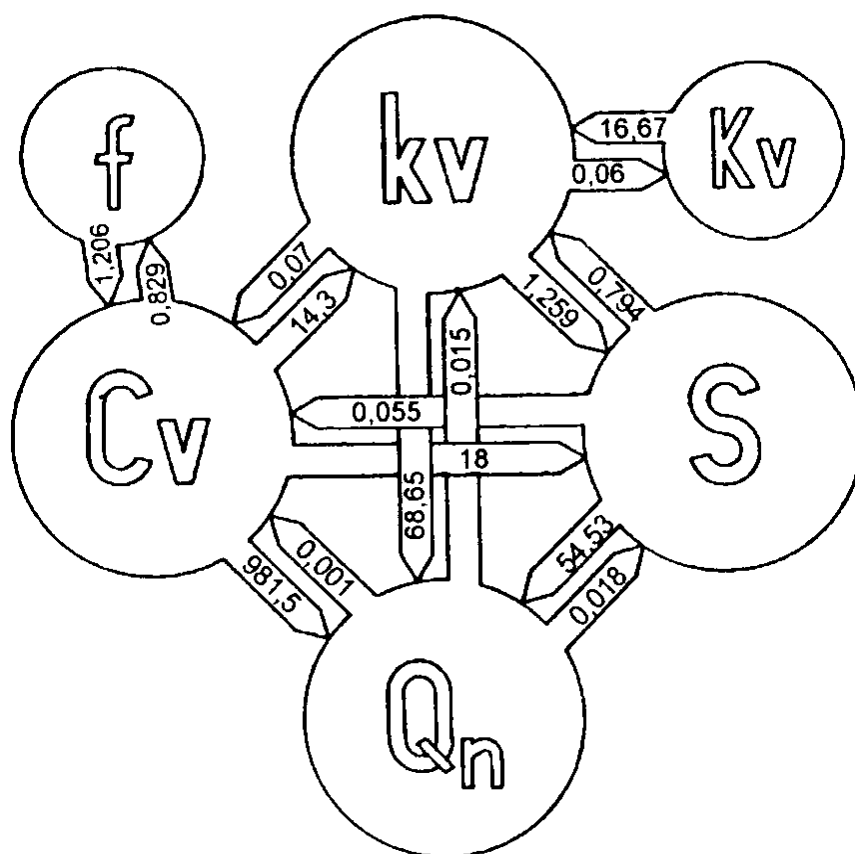
Pokud je v katalogu výrobce uveden průtokový součinitel Kv daného prvku, potom se normální průtok vypočítá podle vztahu (4.1):

$$Q_n = 5141 \cdot Kv \cdot \sqrt{\frac{\Delta p \cdot p_{2a}}{p_1 \cdot T_1}} \quad (4.1)$$

zjednodušená rovnice

$$Q_n = 1127 \cdot Kv \quad (4.2)$$

Na Obr. 4.1 jsou znázorněny průtokové součinitele užívané k výpočtu objemu vzduchu, který projde daným prvkem. Mezi jednotlivými součiniteli jsou šipkami znázorněny násobné koeficienty k jejich vzájemnému převodu.

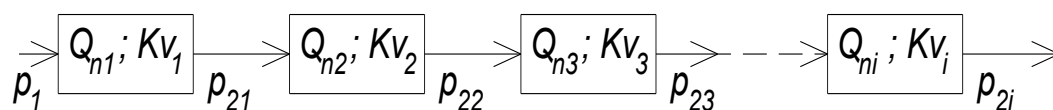


Obr. 4.1 Násobné koeficienty pro jednotky průtoku, *Zdroj:* [2]

Pneumatické systémy, jsou poskládány z jednotlivých pneumatických prvků tak, aby obvod správně fungoval dle požadavků. Toho můžeme docílit zapojením prvků sériově (za sebou), nebo paralelně (vedle sebe) [2].

Průtok pneumatické tlakové soustavy jde vyřešit přepočtem ekvivalentního průtoku, nebo ekvivalentního součinitele průtoku [1].

1. Sériové řazení prvků



Obr. 4.2 Schéma sériového zapojení, *Zdroj:* [1]

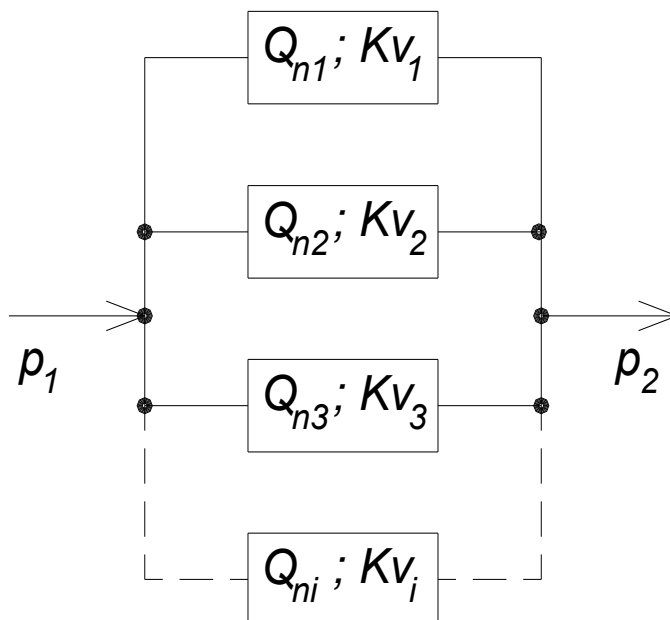
Ekvivalentní (náhradní) průtok

$$Q_{nekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Q_{ni}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{n1}^2} + \frac{1}{Q_{n2}^2} + \frac{1}{Q_{n3}^2} + \dots + \frac{1}{Q_{ni}^2}}} \quad (4.3)$$

Ekvivalentní součinitel průtoku

$$Kv_{ekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Kv_i^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Kv_1^2} + \frac{1}{Kv_2^2} + \frac{1}{Kv_3^2} + \dots + \frac{1}{Kv_i^2}}} \quad (4.4)$$

2. Paralelní řazení prvků



Obr. 4.3 Schéma paralelního zapojení, *Zdroj: [1]*

Ekvivalentní (náhradní) průtok

$$Q_{nekv} = \sum_{i=1}^n Q_{ni} = Q_{n1} + Q_{n2} + Q_{n3} + \dots + Q_{ni} \quad (4.5)$$

Ekvivalentní součinitel průtoků

$$Kv_{ekv} = \sum_{i=1}^n Kv_i = Kv_1 + Kv_2 + Kv_3 + \dots + Kv_i \quad (4.6)$$

Kontrola výpočtů

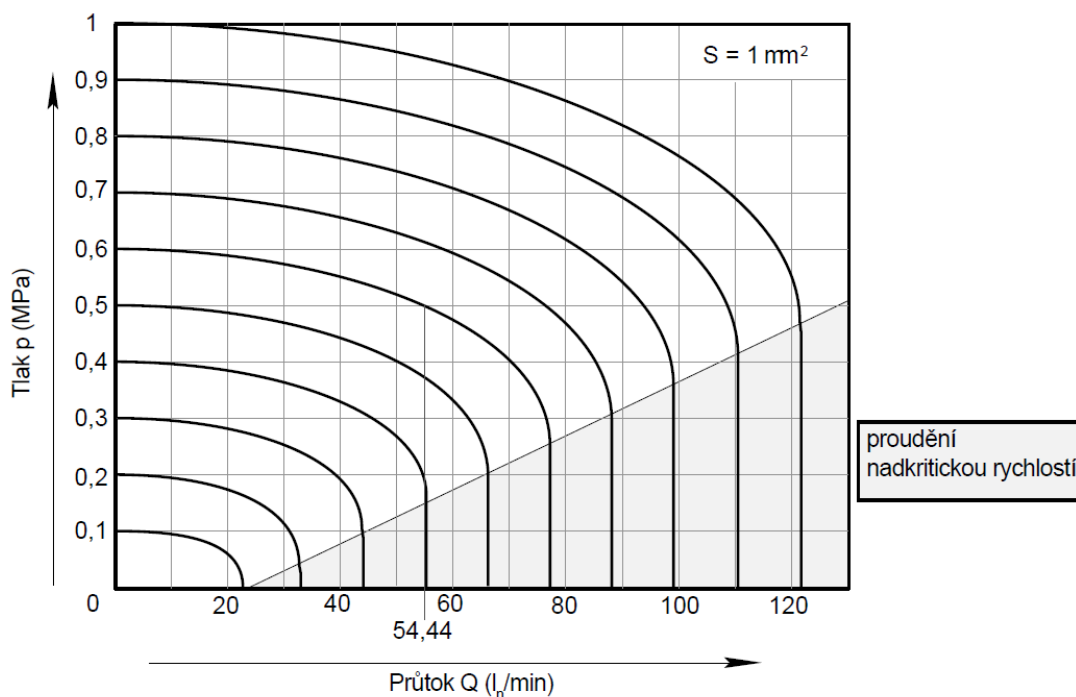
$$Q_{nekv} \geq Q_{nM} \quad Q_{nM} = S_p \cdot v_p \cdot \frac{p_a}{p_{atm}} \quad (4.7)$$

$$Kv_{ekv} \geq Kv_M \quad Kv_M = 9 \cdot 10^{-4} \cdot Q_{nM} \quad (4.8)$$

B. Znázornění průtoků v grafech a diagramech

Pokud nejsou potřebné parametry pro výpočet uvedeny v katalozích od výrobce pneumatických prvků, můžeme si je zvolit z následujících normalizovaných tabulek a diagramů.

Jsou i takoví výrobci pneumatických prvků, kteří ve svých podkladech uvádějí pro vybrání řídicích prvků průtokové diagramy. Tento diagram na Obr. 4.4 znázorňuje závislost mezi vstupním a diferenčním tlakem a objemem vzduchu, kterým zjišťujeme, jaké množství vzduchu projde danými prvky (ventily, šroubení apod.) za minutu.

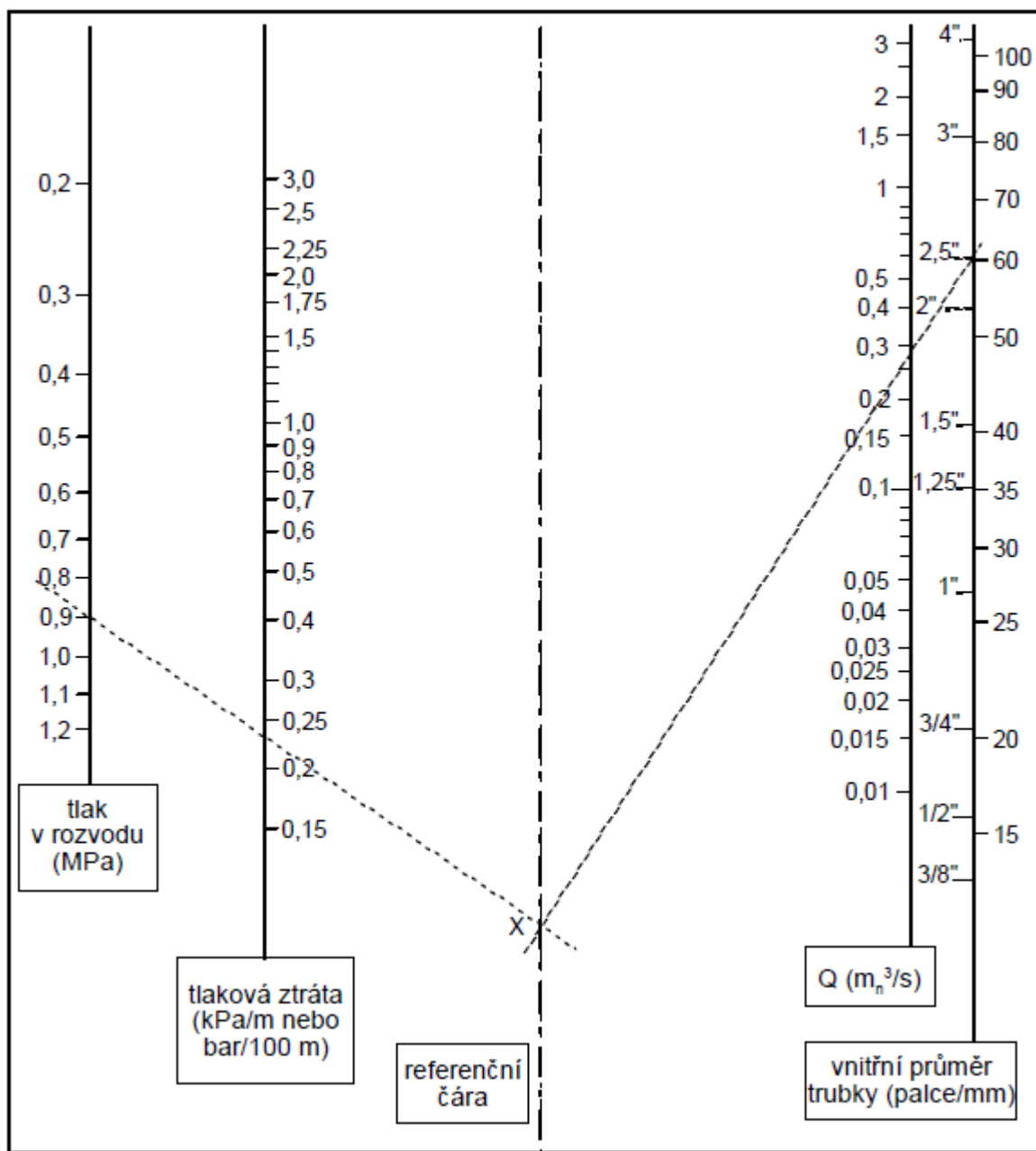


Obr. 4.4 Závislost mezi tlakem a objemem vzduchu, který proteče prvkem s poměrným průřezem $S = 1,0 \text{ mm}^2$, Zdroj: [2]

Poměrný průřez pneumatického prvku $S \text{ (mm}^2\text{)}$ odpovídá kruhovému průřezu měřicí clony, kterou protéká vzduch. Tmavý odstín v diagramu znázorňuje vymežovací část proudění nadkritickou rychlostí. V této části vzduchový proud může dosahovat až nadzvukové rychlosti. Průtok lze ovlivnit pouze zvětšením diferenčního tlaku [2].

Potrubí

Potrubí, použité pro dopravu stlačeného vzduchu, je jedna z největších položek z výdajů provozu rozvodné sítě. Při zvolení špatného průměru potrubí se provozní náklady zvýší vinou velké tlakové ztráty. Konstrukce soustavy stlačeného vzduchu nemá žádný dopad na určení délky a průměru potrubí [2].

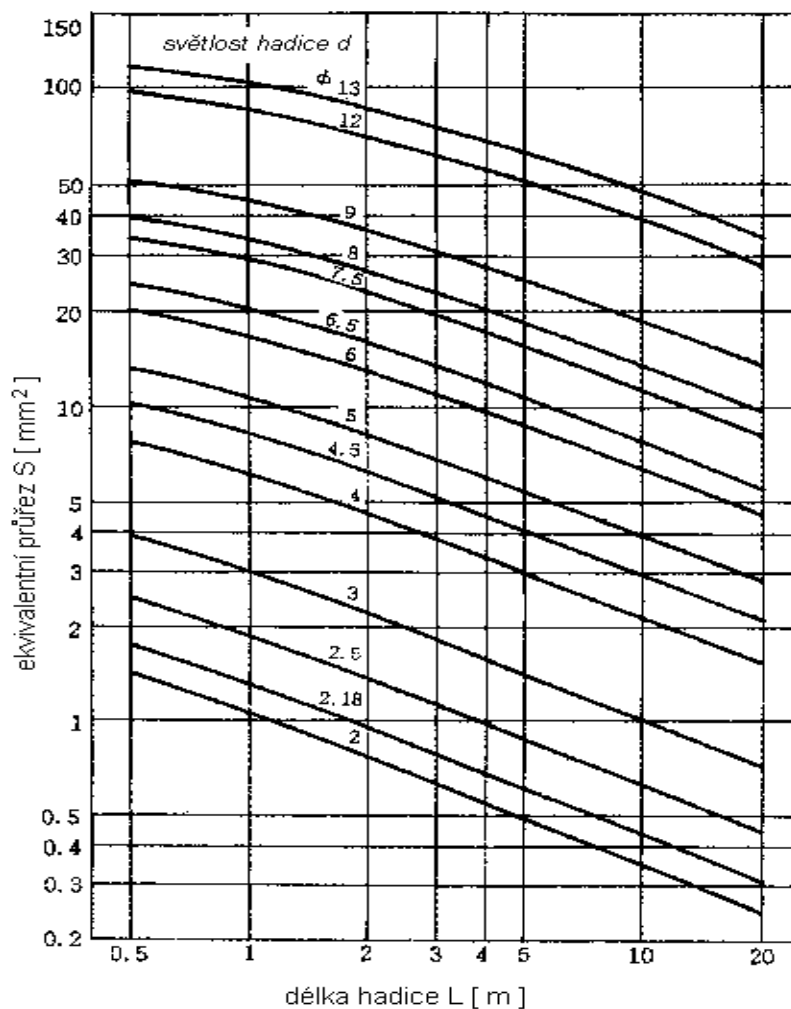


Obr. 4.5 Nomogram pro určení průměru potrubí rozvodu stlačeného vzduchu, *Zdroj:* [2]

Dle nomogramu na Obr. 4.5 je možné vyčíst, že jsou-li známy hodnoty tlaku v rozvodu, tlakové ztráty a průtoku vzduchu, je možné v daném nomogramu graficky zjistit potřebný průměr trubky. Proložením přímky hodnotou tlaku v rozvodu a tlakové ztráty a jejím protažením až po protnutí referenční čáry, vznikne bod X. Průsečíkem bodu X bude vedena přímka o hodnotě průtoku vzduchu dokud neprotne stupnici s vnitřními průměry trubky.

Hadice

Poměrný průřez plastové hadice v porovnáním s její délkou se nejjednodušeji odečítá z diagramu na Obr. 4.6. Tento diagram je určený pro odečet ekvivalentního průřezu pro menší průměry do 9 mm.



Obr 4.6 Ekvivalentní průřez hadic v závislosti na jejich délce, *Zdroj:* [2]

Po odečtení ekvivalentního průřezu S z diagramu se tato hodnota dosadí do vztahu pro přepočet na normální průtok.

$$Q_n = 54,44 \cdot S \quad (4.9)$$

Šroubení

Podobně jako ostatní prvky, tak i šroubení představuje odpor proti proudění vzduchu. Hodnoty průtokových součinitelů můžeme odečíst z následující tabulky (Tab. 4.1).

Tab. 4.1 Součinitel průtoku K_v a jmenovitý průtok Q_n

Jmenovitá světlost šroubení		K_v	Q_n
D (mm)	(")	($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	($\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)
2	G1/8	0,21	230
2,5	G 1/4	0,33	367
4	G1/8	0,85	940
6	G1/4	1,92	2 100
8	G1/4	3,45	3 700
10	G3/8	5,33	5 850
12	G1/2	7,67	8 440
16	G1/2	13,63	14 960
20	G3/4	21,32	24 500

Zdroj: [1]

4.1.2 Výpočet požadovaného průtoku

Na základě předchozího rozboru bude proveden výpočet průtokové propustnosti sledovaného lisu.

Požadovaný normální průtok Q_n se vypočítá ze stavové rovnice (4.10) pro ideální plyn.

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_n \cdot V_n}{T_n} \quad (4.10)$$

Ze vzorce (4.10) si odvodíme výpočet objemu vzduchu

$$V_n = V_1 \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_1} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot h \cdot \frac{p_{1abs}}{p_n} \cdot \frac{T_n}{T_1} \quad (4.11)$$

Do vzorce (4.11) se dosadí hodnoty válce pro výpočet objemu, atmosférický tlak $p_n = 0,1$ MPa, normální teplotu $T_n = 293,15$ K, dodávaný tlak v soustavě $p_{\text{labs}} = 0,78$ MPa a teplota okolí $T_1 = T_n$.

$$V_n = \frac{\pi \cdot 0,2^2}{4} \cdot 0,04 \cdot \frac{0,78 \times 10^6}{0,1 \times 10^6} \cdot \frac{293,15}{293,15} = 9,8 \times 10^{-3} \text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

přepočet na průtok

$$Q_n = \frac{V_n}{t} = \frac{9,8 \times 10^{-3}}{1} = 9,8 \times 10^{-3} \text{ m}_n^3 \cdot \text{s}^{-1} \Rightarrow 588 \text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1} \quad (4.12)$$

Ve vzorci (4.12) dochází k výpočtu normálního požadovaného průtoku podílem normálního objemu jednotkou času. Čas t vyplývá z požadavku lisování právě po dobu 1s.

4.1.3 Výpočet prostupnosti systému

Dle schématu z Obr. 3.2 lze vyčíst, že zadaná pneumatická soustava je řazena sériově. Proto pro tento výpočet bude použit vzorec (4.3), do kterého budou dosazeny hodnoty z tabulky Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Přehled veličin normálního průtoku prvků v soustavě

Normální průtok	Veličina	Hodnota v [dm _n ³ · min ⁻¹]
redukční ventil s filtrem	Q _{n1}	9 700
3/2 monostabilní, spínací rozváděč	Q _{n2}	6 500
5/2 monostabilní, elektromagneticky řízený rozváděč	Q _{n3}	3 700
hadice 12/8	Q _{n4}	1 633
hadice 10/6,5	Q _{n5}	1 361
šroubení	Q _{n6}	3 700

Zdroj: [4]

$$Q_{nekv} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{a=1}^n \frac{1}{Q_{ni}^2}}} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{Q_{n1}^2} + \frac{1}{Q_{n2}^2} + \frac{1}{Q_{n3}^2} + \frac{1}{Q_{n4}^2} + \frac{1}{Q_{n5}^2} + 5 \cdot \frac{1}{Q_{n6}^2}}}$$

$$Q_{nekv} = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{9700^2} + \frac{1}{6500^2} + \frac{1}{3700^2} + \frac{1}{1361^2} + \frac{1}{1633,2^2} + 5 \cdot \frac{1}{3700^2}}}$$

$$Q_{nekv} = 849 \text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$$

4.1.4 Porovnání a zhodnocení výpočtů

Z výpočtu vyšlo, že pro správnou funkci pneumatického systému je požadován normální průtok $Q_n = 588 \text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Z vypočteného vzorce (4.3) prostupnosti daného okruhu se zjistilo, že ekvivalentní průtok je $Q_{nekv} = 849 \text{ dm}_n^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

$$Q_{nekv} > Q_n \quad (4.13)$$

Jestliže porovnání těchto výsledků souhlasí podle pravidla uvedeného ve vzorci (4.13), znamená to, že průtoková propustnost v systému je dostačující. Což nám tady problematiku nedostačujícího průtoku v systému vylučuje.

4.2 Pomalé vypouštění vzduchu

Tento problém může být způsoben nedostatečnou průtokovou propustností prvků na výstupu (z prostoru pístnice), a to zejména zvolením špatného tlumiče vzduchu, který může zapříčinit nedostatečnou rychlost odvodu vzduchu z pracovního prostoru stlačeným vzduchem. Tlumič může být také zanesen z důvodu špatné filtrace a tím pádem se zvýší odpor stlačeného vzduchu. To může mít za následek, že se soustava nestihne za danou dobu dostatečně odvodu vzduchu, takže výsledná síla motoru je ovlivněna protitlakem v prostoru pístnice. Vyřešit se to může zakomponováním rychloodvětrávacího ventilu, což je speciální prvek, který slouží k rychlému propojení pracovního prostoru naplněným stlačeným vzduchem s atmosférou. S tímto rychloodvětrávacím ventilem bylo měřeno, dále o tom bude

pojednáno v kapitole 5.3 a následně i v grafickém zobrazení měření v prvním (Obr. 5.8) a ve druhém (Obr. 5.9) lisovacím cyklu.

4.3 Kolísání tlaku v rozvodu

Kolísání tlaku může způsobovat nevyhovující množství dodávaného tlaku do daného rozvodu. Nedostatečný tlak v obvodu může být i v případě většího odběru stlačeného vzduchu z rozvodu. Bývá to zapříčiněno větším odběrem ostatních strojů v provozu připojených na stejný zdroj stlačeného vzduchu.

5 Ověření lisovací síly

K proměření tlakových poměrů v pneumatickém lisu a zjištění možných závad je nutné znát, jakou hodnotu má tlak v prostoru pístu, hodnotu tlaku v odvětrávaném prostoru pístnice a hodnotu tlaku na vstupu do rozváděče.

Tato kapitola se bude zabývat metodikou měření. A to za normálních podmínek a s rychloodvětrávacím ventilem. Tyto dva druhy měření budou dále zpracovány do grafů a porovnány.

5.1 Metodika měření

Ke zjištění tlaku v pneumatickém zařízení byl použit měřicí systém Hydrotechnik M 5050 zobrazený na Obr. 5.1. Tento přístroj se používá především k měření veličin, jako jsou tlak, teplota, průtok a jiné. Přístroj má 6 vstupů, takže může měřit až 6 veličin najednou. Z toho jsou dva vstupy frekvenční a zbylé čtyři vstupy analogové. Naměřené hodnoty se můžou odečítat přímo z displeje přístroje a to formou tabulky, nebo vykresleného grafu, ale také je možno si je stáhnout do počítače a pomocí programu Hydrowin dále zpracovávat [7].



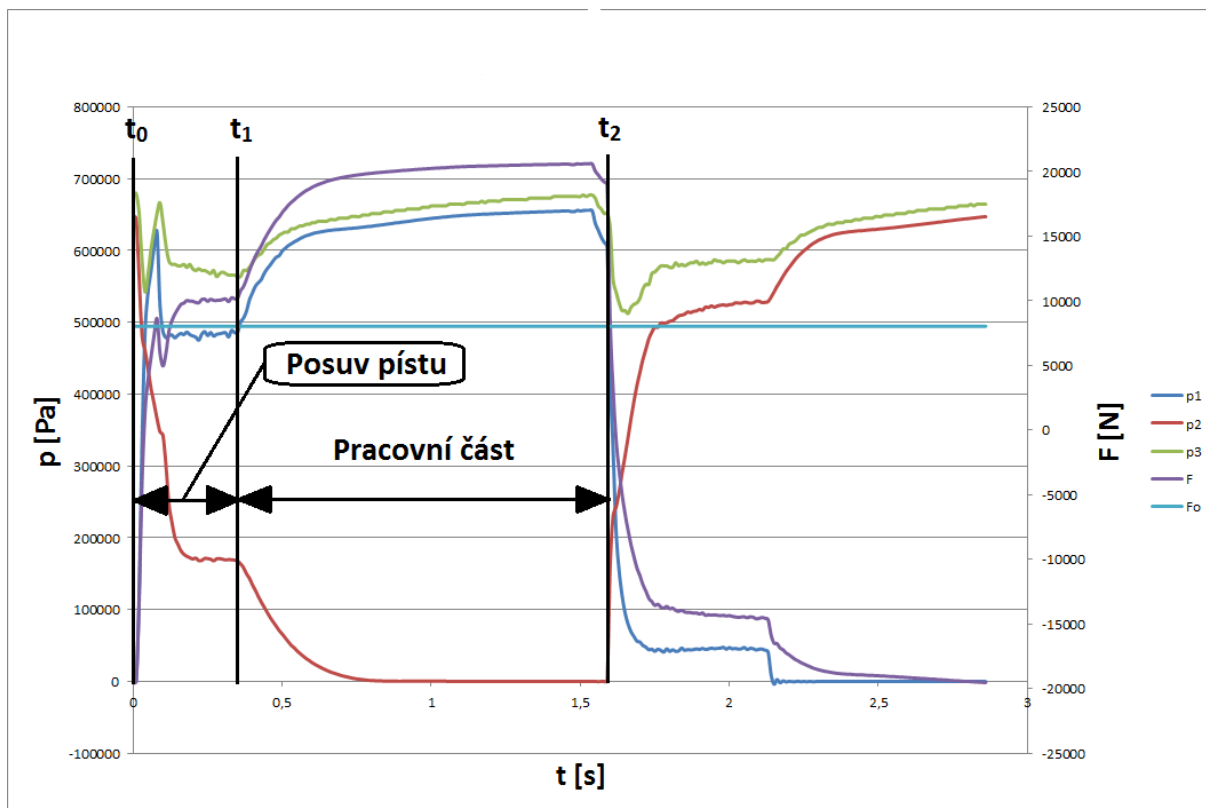
Obr. 5.1 Hydrotechnik M 5050, *Zdroj:* [7]

Pro snímání tlaku v pneumatickém obvodu bylo užito tři snímačů PR 15 Hydrotechnik Obr. 5.2, které se používají k měření tlaku v rozsahu $-0,1 \div 0,6$ MPa s analogovým výstupem v rozmezí $4 \div 20$ mA. Snímače Hydrotechnik PR 15 měří s přesností $\pm 0,2$ %.



Obr.5.2 Snímač tlaku Hydrotechnik, *Zdroj:* vlastní

Naměřené hodnoty byly zpracovány a vloženy do grafů. Pro snadnější orientaci v grafech bude nejdříve věnována pozornost základnímu popisu jeho průběhu.



Obr. 5.3 Popis grafu, Zdroj: vlastní zpracování

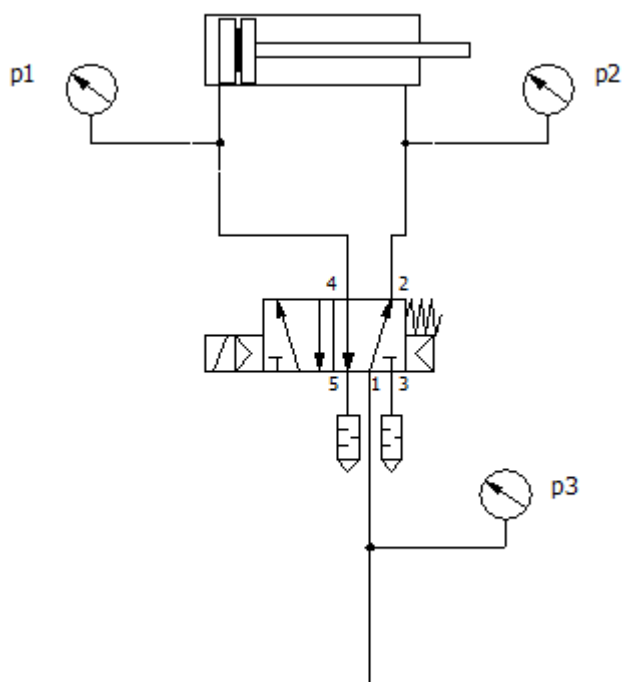
Na daném grafu (Obr. 5.3) je znázorněno, jak vypadají průběhy tlaků při jednom lisovacím cyklu. V čase t_0 se hlavní rozváděč přestaví do polohy, kdy se začne prostor pístu lisu plnit stlačeným vzduchem p_1 a prostor pístnice p_2 se začne odvětrávat. Mezi časem t_0 a t_1 dochází k posuvu pístu, kdy na tlak v naplňovaném prostoru pístu p_1 působí jen protitlak v odvětrávaném prostoru pístnice p_2 . Doba, kdy se začne lisovat je označena časem t_1 . Úsek mezi časy t_1 a t_2 je nazýván pracovní částí, či také tzv. lisovací částí. Kdy je vzduch z prostoru pístnice p_2 vypuštěn a roste tlak v prostoru pístu p_1 tudíž i lisovací síla F . V čase t_2 se hlavní rozváděč přestaví zpět do polohy, ve které se začne plnit prostor pístnice p_2 a prostor pístu se odvětrává. V grafu je taky zobrazena pro porovnání i minimální požadovaná tlaková síla F_0 .

Lisovací síla byla počítána z hodnot tlaků v pracovním prostoru, plochy pístu a plochy mezikruží na straně pístnice podle vzorce (5.1).

$$F = p_1 \cdot \frac{\pi}{4 \cdot d_1^2} - p_2 \cdot \frac{\pi}{4 \cdot (d_1^2 - d_2^2)} \quad (5.1)$$

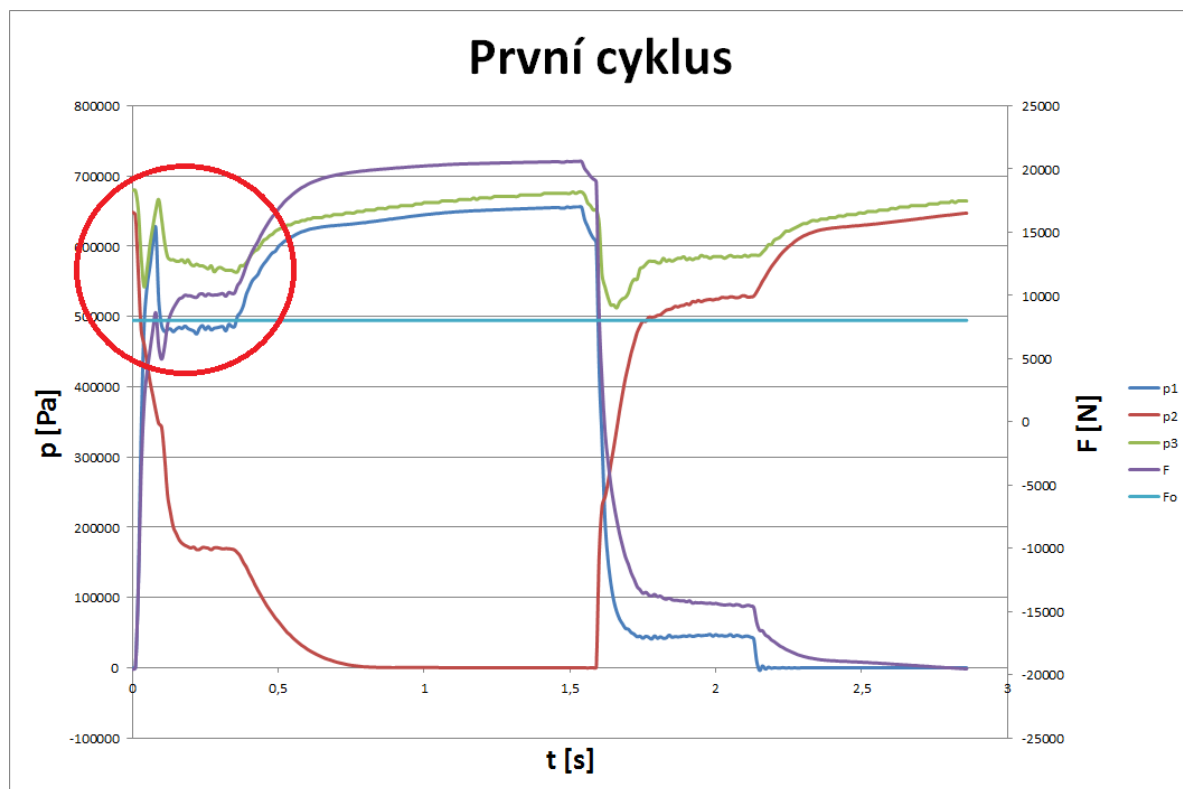
5.2 Měření za normálních podmínek provozu

První měření probíhalo za normálních podmínek daného lisovacího zařízení v provozu. Zapojení snímačů do pneumatického systému bylo provedeno podle schématu Obr. 5.4, kde snímač p_1 zjišťuje tlak v prostoru pístu, p_2 určuje tlak v odvětrávaném prostoru pístnice a snímač p_3 měří tlak na vstupu do hlavního rozváděče.

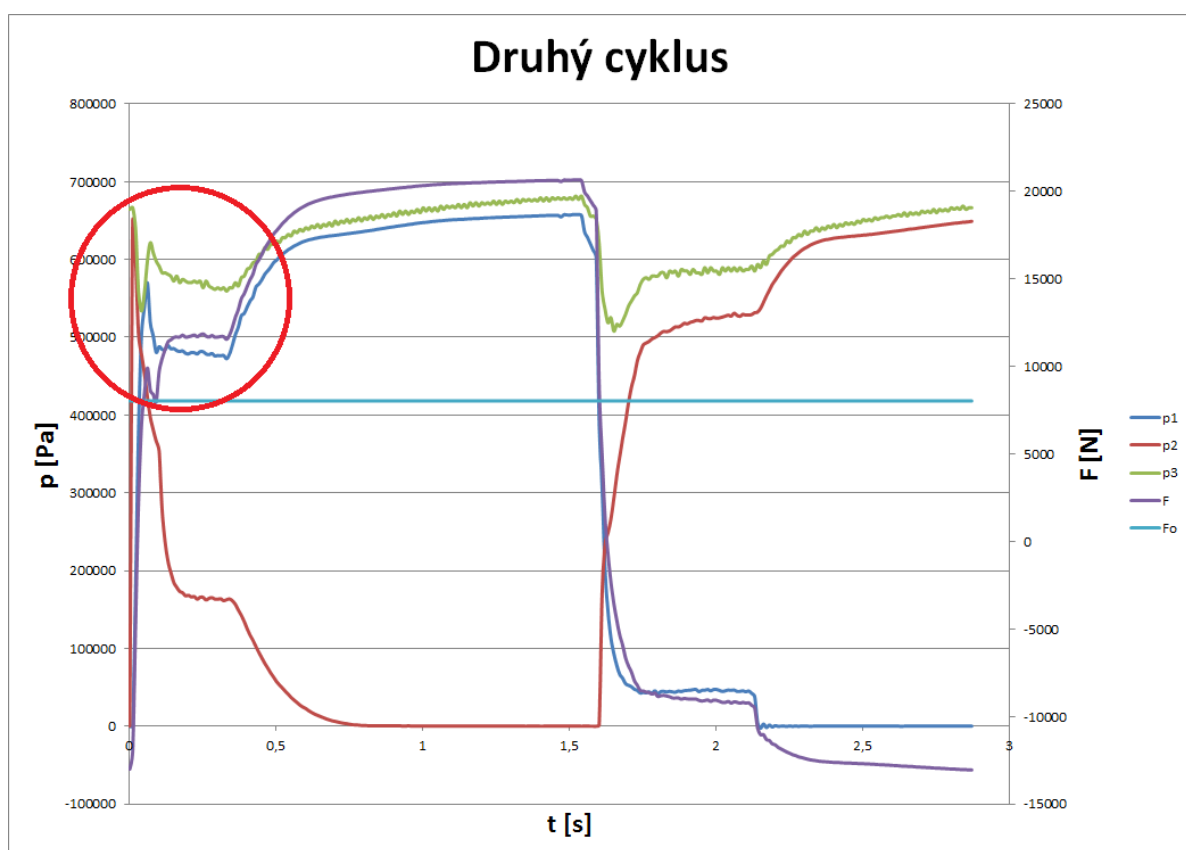


Obr. 5.4 Schéma zapojení snímačů do obvodu pneumatického lisu, *Zdroj:* vlastní zpracování

Měření bylo prováděno za normálních podmínek v provozu ve dvou po sobě jdoucích lisovacích cyklech. Tyto dva cykly jsou znázorněny v následujících grafech na Obr. 5.5 a Obr. 5.6. Odlišnosti, v podobě menších tlakových špiček v prostoru pístu p_1 ve druhém cyklu, lze zpozorovat v části označené červeným kruhem. Tento jev nastává ještě v době, kdy nedochází k lisování, nemá tedy vliv na odpadávání protihlukové vrstvy z brzdových destiček.



Obr. 5.5 První cyklus lisování za normálních podmínek, *Zdroj: vlastní zpracování*



Obr. 5.6 Druhý cyklus lisování za normálních podmínek, *Zdroj: vlastní zpracování*

Tab. 5.1 Porovnání prvního a druhého cyklu lisování za normálních podmínek

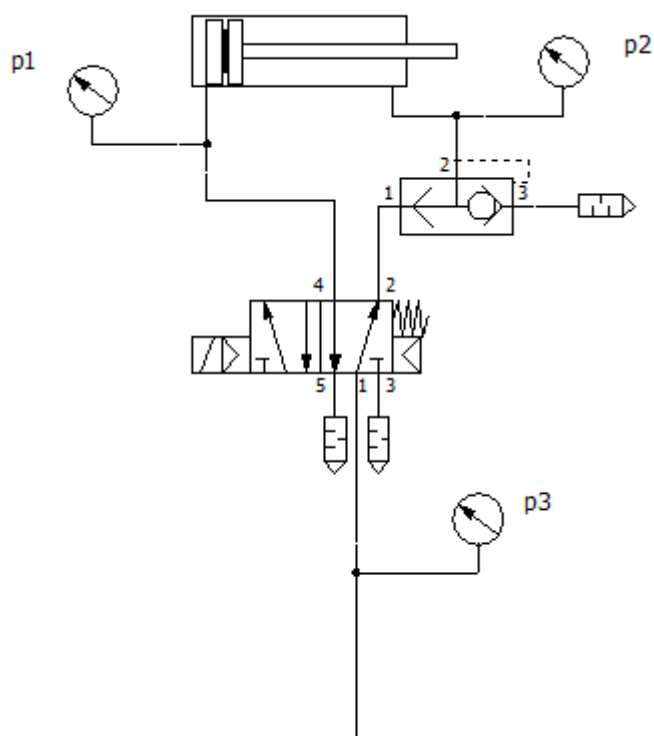
Cykly	Začátek lisování [s]	Konec lisování [s]	Čas lisování [s]	Minimální lisovací síla [N]	Maximální lisovací síla [N]
První cyklus	0,35	1,59	1,24	10 195	20 602,9
Druhý cyklus	0,33	1,57	1,24	11 791,4	20 665,4

Zdroj: vlastní zpracování

Z tabulky Tab. 5.1 je možné vyčíst, že lisovací síla v tomto měření je dostačující, a to po celou dobu lisování, což je v daném případě 1,24 s. Tímto bylo dokázáno, že tvrzení o její nedostatečné velikosti bylo mylné.

5.3 Měření s rychloodvětrávacím ventilem

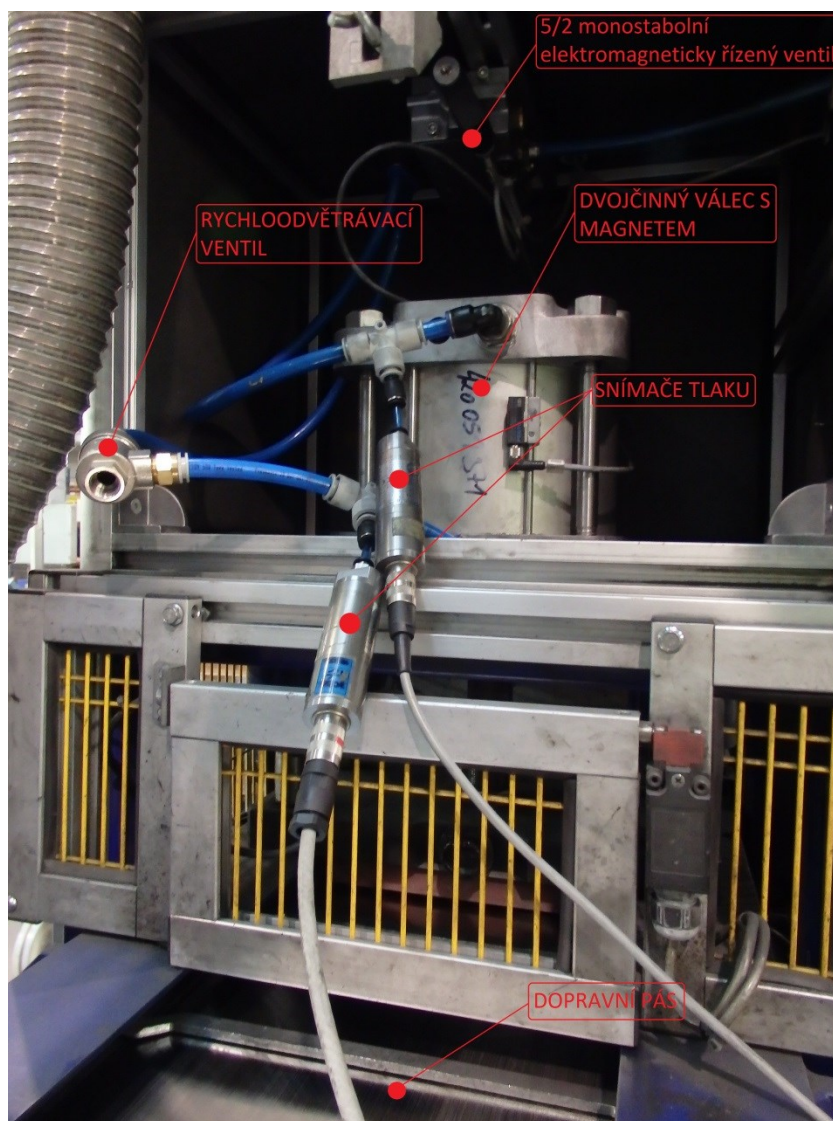
Další měření bylo prováděno se zapojením rychloodvětrávacího ventilu dle schématu Obr 5.7. Tento rychloodvětrávací ventil byl zapojen mezi odvětrávaný prostor písnice a hlavní rozváděč v pneumatickém systému.



Obr. 5.7 Schéma zapojení rychloodvětrávacího ventilu do obvodu pneumatického lisu,

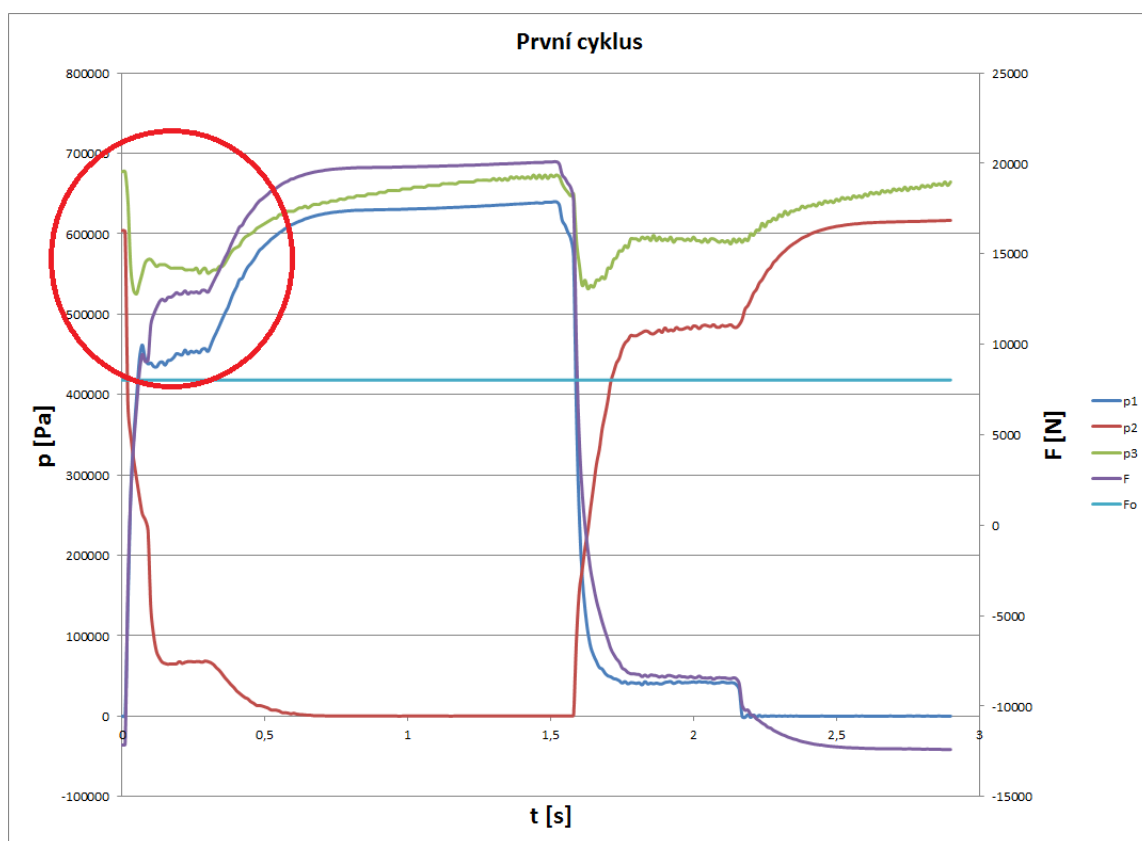
Zdroj: vlastní zpracování

Na následující fotografii (Obr 5.8) je zachyceno zapojení rychloodvětrávacího ventilu do obvodu pneumatického zařízení v praxi pro zadané měření. Na obrázku jsou popsány viditelné prvky v obvodu spolu s dopravním pásem, díky kterému jsou brzdové destičky s protihlukovou vrstvou dopravovány k lisu.

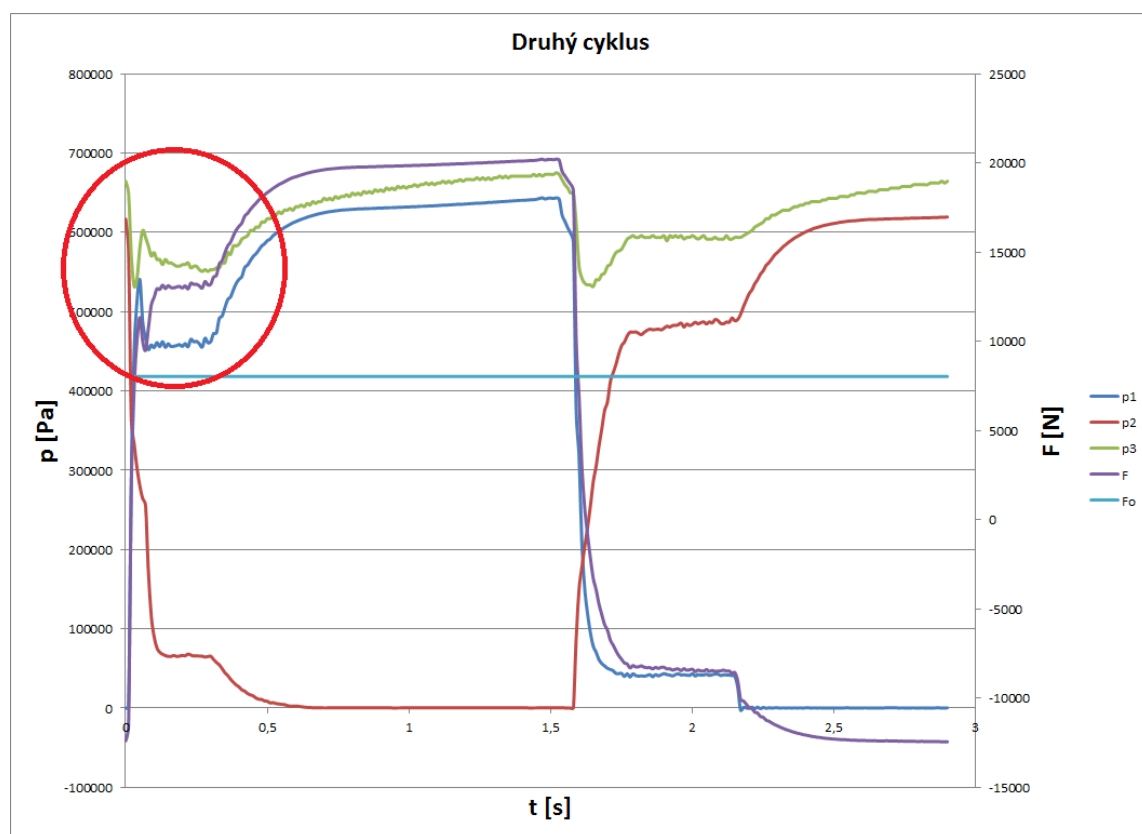


Obr. 5.8 Zapojení rychloodvětrávacího ventilu v praxi, *Zdroj: vlastní*

V následujících dvou grafech (Obr. 5.9 a Obr. 5.10) jsou znázorněny průběhy tlaků. Graf v Obr. 5.8 je zaměřen na první lisovací cyklus protihlukové vrstvy brzdových destiček, zatímco graf na Obr 5.9 se zabývá druhým lisovacím cyklem. Při jejich porovnání je možno zkonstatovat, že ke změnám dochází v červeně označené části grafu. Tímto měřením se může potvrdit nebo vyloučit nedostatečně rychlé odvětrávání prostoru pístnice.



Obr. 5.9 První cyklus lisování s rychloodvětrávacím ventilem, *Zdroj:* vlastní zpracování



Obr. 5.10 Druhý cyklus lisování s rychloodvětrávacím ventilem, *Zdroj:* vlastní zpracování

Tab. 5.2 Porovnání prvního a druhého cyklu lisování s rychloodvětrávacím ventilem

Cykly	Začátek lisování [s]	Konec lisování [s]	Čas lisování [s]	Minimální lisovací síla [N]	Maximální lisovací síla [N]
První cyklus	0,31	1,52	1,21	13163,7	20 093,9
Druhý cyklus	0,32	1,53	1,24	13705,9	20 213,3

Zdroj: vlastní zpracování

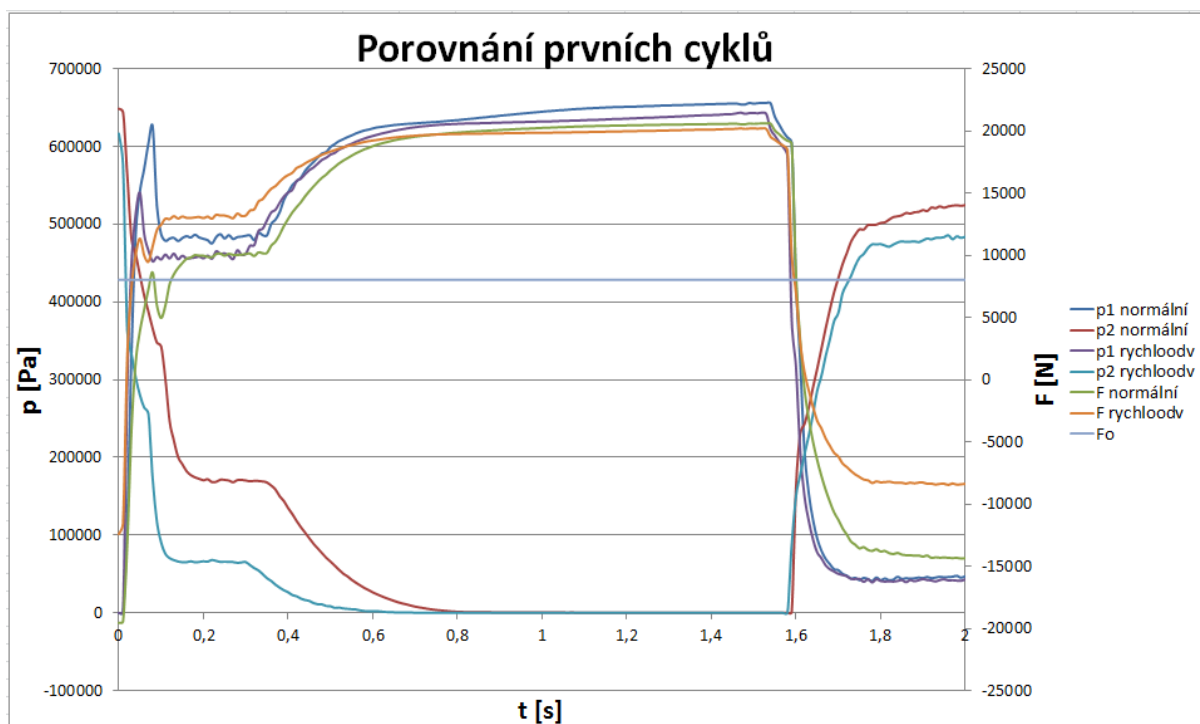
V tabulce Tab. 5.2 je zobrazeno podobně jako v předchozí, že vypočtená lisovací síla v tomto měření je dostačující. V porovnání s konfigurací pneumatického systému bez rychloodvětrávacího ventilu je patrná změna síly, která je o cca 2 441 N větší.

5.4 Porovnání

V této části budou porovnány grafy prvního cyklu obou předchozích případů, které jsou pro přehlednost sloučeny do jednoho grafu (Obr. 5.11).

Z porovnání je zřejmé, že rychloodvětrávací ventil způsobuje výrazně rychlejší pokles tlaku p_2 v prostoru pístnice. Z důvodu menšího protitlaku je viditelný i rozdíl v průběhu tlaku p_1 , kde při použití rychloodvětrávacího ventilu je potřebný tlak pro rozjezd o přibližně 0,164 MPa menší.

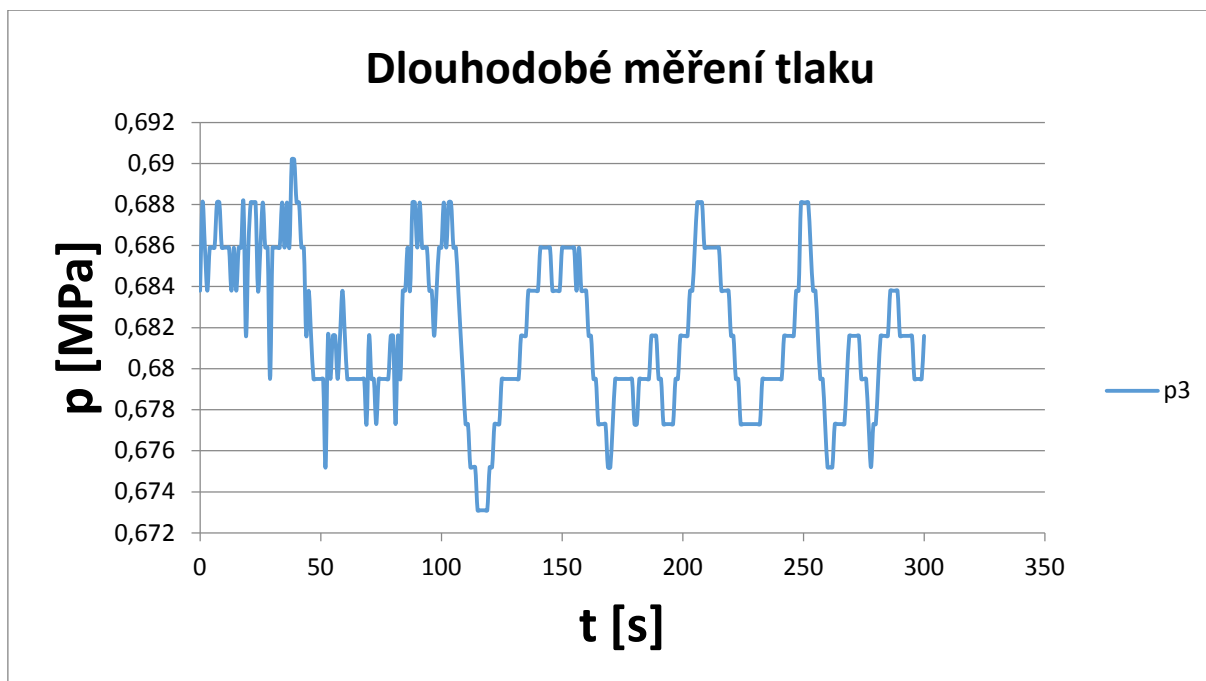
Z grafu je rovněž patrný rozdíl lisovací síly, kde jak již bylo uvedeno, je její minimální hodnota o přibližně 2 441 N větší.



Obr. 5.11 Porovnání prvních cyklů obou metod, *Zdroj: vlastní zpracování*

5.5 Ověření kolísání tlaku v rozvodu

Měření bylo prováděno 2 krát po dobu 5 minut s časovým rozstupem 15 minut při standardním zatížení lisu v provozu. Při současném provozu ostatních zařízení ve výrobní hale byl měřen tlak p_3 na vstupu do rozváděče dle výše uvedených schématu Obr. 5.4. Bylo zjištěno, že nedochází k rapidní ztrátě tlaku před hlavním rozváděčem. Ke kolísání tlaku sice dochází, ale pouze v rozsahu $\pm 0,01$ MPa (viz Obr. 5.12), což je zanedbatelná hodnota. To může být důsledkem velkého odběru okolními pracovními stroji z rozvodu stlačeného vzduchu. Zmíněné minimální výkyvy tlaku nemají vliv na lisovací sílu.



Obr. 5.12 Dlouhodobé měření tlaku, *Zdroj:* vlastní zpracování

V příloze práce jsou uvedeny data z měření v elektronické podobě.

6 Závěr

Pneumatické mechanismy jsou v průmyslových odvětvích stále více vyhledávány, a to zejména pro jejich technologickou a konstrukční jednoduchost. Jsou spolehlivé, nemají vysoké nároky na údržbu a při jejich provozu nedochází ke znečištění okolí.

Firma ITT Holdings Czech Republic s.r.o. vznesla požadavek na zjištění tlakových poměrů na pneumatickém lisu lisujícím protihlukovou vrstvu na brzdové destičky. Při výrobě totiž dochází k situaci, že nalisovaná část dostatečně nedrží a stává se, že upadává a brzdová destička je znehodnocena a vyřazena z prodeje.

Cílem bakalářské práce bylo provést rozbor možných příčin výše zmíněného problému, realizovat měření na lisu a na základě rozboru a měření navrhnout případná nápravná opatření.

Příčinou nedostatečné lisovací síly při lisování protihlukové vrstvy na brzdovou destičku může být nedostatečná průtoková propustnost prvků mezi zdrojem stlačeného vzduchu a pneumatickým válcem, který se tak nestihne za požadovaný čas lisování 1 s naplnit na požadovaný lisovací tlak. Další příčinou může být pomalé vypouštění vzduchu z prostoru pístnice, což způsobuje protitlak při lisování, třetím důvodem je kolísání vzduchu v rozvodu.

Na základě rozboru bylo zjištěno, síla lisu je dostačující, neboť její vypočtená hodnota je 3x vyšší, než je potřebná síla, která činí 8 030 N. Rovněž rozbor propustnosti prokázal, že tato je dostačující.

Další částí práce bylo měření, které bylo provedeno na reálném zařízení při běžném provozu. Měření potvrdilo závěry teoretického rozboru tedy, že lisovací síla i propustnost jsou dostačující. Zároveň byla vyvrácena druhá možná příčina nedostatečné lisovací síly, a to pomalé odvětrávání prostoru pístnice. Rovněž nebylo prokázáno, že by lisovací síla byla významně ovlivněna kolísáním tlaku v rozvodu.

Na závěr lze konstatovat, že technické parametry zkoumaného lisu jsou pro danou úlohu dostačující. Příčinou odpadávání protihlukové vrstvy může být krátká doba lisování, či jiné příčiny, které mohou být způsobeny technologií výroby, složením materiálů apod. Hodnocení těchto aspektů však již není náplní této práce.

Seznam použité literatury

- [1] KOPÁČEK, J. *Pneumatické mechanismy díl 1. – Pneumatické prvky a systémy*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1996, 267 s. ISBN 80-7078-306-0.
- [2] Kolektiv autorů. *SMC Training – Stlačený vzduch a jeho využití*. Brno, SMC Industrial Automation CZ s.r.o. 2. Vydání. 344 s.
- [3] BEATER, P. *Pneumatic drives: systém design, modelling and control*. Berlin: Springer, 2007. 323 p. ISBN 978-3-540-69470-0.
- [4] Katalogy a firemní podklady SMC, Festo, Norgren, Aventics, ITT a další
- [5] *About ITT* [online]. ITT CORPORATION, 2015 [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.itt.com/About/>.
- [6] *Konstrukce brzdových destiček* [online]. VEPA, Pavla Štěpánková [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: http://vepa.prodejce.cz/texty/texty_cj/hlavni.htm.
- [7] *HYDROTECHNIK GmbH* [online]. Katalogové listy. Holzheimer Str.94 65549 Limburg. Germany. [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.hydrotechnik.com/>
- [8] *Redukční ventily s filtrem LFR/LFRS, řada D* [online]. Festo [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/LFR-D_CZ.PDF.
- [9] *Spínací ventily/ ventily s pomalým náběhem tlaku HE/HEE/HEP/HEL, řada D* [online]. Festo [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/D-START-UP-EXHAUST-VALVES_CZ.PDF.
- [10] *Elektromagneticky/ pneumaticky ovládané ventily Tiger Classic* [online]. Festo [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/TIGERCLASSIC_CZ.PDF.
- [11] *Standard cylinders DNG/DNGL/DNGZK/DNGZS, ISO 15552* [online]. Festo [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/285980/DNG_en.pdf-04.02.2010-10-20-09.pdf.
- [12] *Tlumiče hluku* [online]. Festo [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/SILENCERS_CZ.PDF.